



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift

DE 198 06 796 A 1

(51) Int. Cl.⁶:
B 01 D 61/00
B 01 D 61/10
B 01 D 61/20
C 02 F 1/44

(21) Aktenzeichen: 198 06 796.8
(22) Anmeldetag: 19. 2. 98
(43) Offenlegungstag: 9. 9. 99

(71) Anmelder:
Membraflow GmbH & Co KG Filtersysteme, 73457
Essingen, DE

(74) Vertreter:
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

(72) Erfinder:
Schüßler, Roland, 73278 Schlierbach, DE;
Feuerpeil, Hans-Peter, 73529 Schwäbisch Gmünd,
DE

(56) Entgegenhaltungen:
DE 25 25 334 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- (54) Verfahren und Vorrichtung zur Behandlung und/oder Vorbehandlung von mittels einer Membranfiltrationseinrichtung zu behandelnden Flüssigkeiten
- (57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung und/oder Vorbehandlung von mittels einer Membranfiltrationseinrichtung zu filtrierenden Flüssigkeiten, insbesondere wasserhaltigen Lösungen, Emulsionen, Suspensionen. Die Erfindung umfaßt die folgenden Schritte:
Zuführen von zu filtrierenden Flüssigkeiten zu einer Behandlungseinrichtung und/oder Vorbehandlungseinrichtung und/oder Filtereinrichtung;
Anlegen von elektrischen und/oder magnetischen und/oder elektromagnetischen Feldern in einer Behandlungseinrichtung und/oder Vorbehandlungseinrichtung und/oder Filtereinrichtung derart, daß die mit der Membran zu filtrierenden Flüssigkeiten diesen Feldern ausgesetzt werden bzw. sind;
Abführen der behandelten Flüssigkeiten aus der Behandlungseinrichtung, Vorbehandlungseinrichtung oder Filtereinrichtung.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Behandlung und/oder Vorbehandlung von mittels einer Membranfiltereinrichtung zu filternden Flüssigkeiten, insbesondere wasserhaltigen Lösungen, Emulsionen, Suspensionen sowie eine Membrananlage mit einer Zuführungeinrichtung zum Zuführen von zu behandelnden Flüssigkeiten umfassend mindestens eine Membranfiltereinrichtung sowie mindestens eine Einrichtung zum Abführen des Filtrates und des Konzentrates.

Verfahren zur Filterung von Flüssigkeit mittels Membranfiltern, insbesondere Keramikmembranfiltern die vorzugsweise aus α -Aluminiumoxid, ZrO_2 oder TiO_2 bestehen, werden in einer Vielzahl von Anwendungsgebieten eingesetzt. Beispielhaft seien hierfür die Molkereiindustrie, die Lebensmittel-/Getränkeindustrie, die pharmazeutische und chemische Industrie sowie insbesondere die Aufbereitung von Wässern und Abwässern genannt. Insbesondere bei der Verarbeitung von Flüssigkeiten, die zumindest einen Anteil von wässriger Lösung umfassen, besteht das Problem des Zusatzes der vorzugsweise im Bereich von 3–5000 nm Nennporengröße liegenden Porenkanäle. In der Lösung enthaltene größere Partikel oder Agglomerate schlagen sich ohne mit der Membranoberfläche eine Bindung einzugehen auf dieser nieder, reduzieren die freie Oberfläche und setzen so die Poren der Membran zu. Durch Rückspülung können derartige Teilchen in der Regel entfernt werden. Wesentlich schwieriger ist die Reinigung, wenn die in der Lösung enthaltenen Stoffe auf der Porenoberfläche adsorbieren oder durch das Anwachsen der Adsorbschicht die Poren der Membran zuwachsen und schließlich verstopfen. Bei derartig verstopften Membranen müssen bislang chemische Reinigungsverfahren eingesetzt werden, mit denen die Bindung der Adsorbschicht an die Porenwände aufgebrochen bzw. die Verschmutzung aufgelöst wird. So kann man beispielsweise zum Entfernen von $Ca(OH)_2$ -Adsorbschichten Essigsäure verwenden; die Entfernung von Adsorbschichten, die Si-Verbindungen, wie beispielsweise polymere Kieselsäure enthalten ist nur mit sehr starken Chemikalien wie beispielsweise HCl -Säure möglich, was zur Beschädigung bzw. Zerstörung des Keramikfilters führt.

Aufgabe der Erfindung ist es somit, ein Verfahren zur Vorbehandlung von Flüssigkeiten, insbesondere solchen die zumindest einen Anteil wässriger Lösung umfassen, anzugeben, mit dem die Ausbildung von Adsorbschichten auf den Porenwänden der Membran weitgehend unterbunden werden kann.

Erfundungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die in der Membrananlage zu filtrierende Flüssigkeit elektrischen und/oder magnetischen und/oder elektromagnetischen Feldern ausgesetzt wird. Diese Felder können sowohl statische Felder als auch Wechselfelder sein. Das Anlegen derartiger Felder bewirkt, daß die in der wässrigen Lösung vorhandenen geladenen Teilchen, beispielsweise Ionen, kristallisieren bzw. aggregieren und aus der Lösung ausfallen. Erklärung hierfür könnte der nachfolgende Mechanismus sein:

Geladene gelöste Teilchen wie Ionen werden in der wässrigen Lösung stets von der Solvathülle umgeben, die die chemische Reaktionsfähigkeit beeinträchtigt. Um Kristallbildung zu induzieren, muß somit Aktivierungsenergie zugeführt und die Solvathülle aufgebrochen werden.

Dies geschieht durch gezielte Beeinflussung mit elektrischen oder auch magnetischen bzw. elektromagnetischen Feldern.

Die so gebildeten Kristalle können sich zwar auch auf den Porenkanälen ablagern, bilden aber keine fest an das Po-

renmaterial gebundene Adsorbschicht aus, sondern können in der Regel beispielsweise durch einfaches Rückspülen von der Membran entfernt werden.

In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist die zu behandelnde Lösung eine übersättigte Lösung, in der sich ein Lösungsgleichgewicht noch nicht eingestellt hat.

Ein besonderes Einsatzgebiet der Membranfiltration gemäß der Erfindung ist in der Aufbereitung von Wässern für die Trinkwasserversorgung und insbesondere in der Sterilfiltration zu sehen.

Neben der erfundungsgemäßen Behandlung der Lösung, kann das Ausfällen von in der zu filtrierenden Flüssigkeit enthaltenen Stoffen durch eine Vorbehandlung z. B. durch die Zugabe von Flockungsmitteln unterstützt werden. Auch das Flotieren von Stoffen mit anschließendem Abziehen des Schaumes als Vorbehandlung wäre denkbar.

Als besonders wirksam hat sich eine Kombination des erfundungsgemäßen Verfahrens mit Sandfiltern herausgestellt.

In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung weist die Behandlungsvorrichtung und/oder Vorbehandlungsvorrichtung für die in der Membrananlage zu filtrierende Flüssigkeit Mittel zum Erzeugen von magnetischen und/oder elektrischen und/oder elektromagnetischen Feldern auf.

Die magnetischen Felder können in einer ersten Ausführungsvariante beispielsweise durch Permanentmagnete oder in einer alternativen Ausführungsform durch Elektromagnete erzeugt werden.

In einer erweiterten Form der Erfindung wird die Behandlung mittels Magneten durch die Kombination mit klassischen Verfahren zur Vorbehandlung, wie z. B. Fällung, Flockung, Flotation, Tiefbettfiltration (wie z. B. Sandfilter) usw. ergänzt und verstärkt.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden. Es zeigen:

Fig. 1a eine Prinzipansicht der Tangentialflußfiltration, wie sie beispielsweise in Membranfilteranlagen angewandt werden kann;

Fig. 1b eine Prinzipansicht der Membranfiltration ohne Überströmung der Membranoberfläche (Dead End Filtration);

Fig. 2 eine stark vergrößerte Ansicht eines Membranfilters mit den Porenkanälen und darauf adsorbiert Schicht, wobei die Anlage keine Vorbehandlungseinrichtung bzw. Behandlungseinrichtung gemäß der Erfindung aufweist;

Fig. 3 eine stark vergrößerte Ansicht eines Membranfilters mit den Porenkanälen und darauf adsorbiert Schicht, wobei die Anlage eine Behandlungseinrichtung gemäß der Erfindung aufweist;

Fig. 4 das Energiediagramm der Kristallisation aus Lösung;

Fig. 5 eine schematische Ansicht einer Membranfiltrationsanlage.

In Fig. 1a ist das Prinzip der Tangentialflußfiltration, wie sie auch in Membrananlagen mit keramischen Membranfiltern zum Einsatz gelangt dargestellt. Die Tangentialflußfiltration ist durch die Anwesenheit von zwei Volumenströmen gekennzeichnet, der Geschwindigkeit v_1 des Filtrates senkrecht zur Membranoberfläche 1, der sogenannten Permeatgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit v_2 tangential zu Membranoberfläche 1, der sogenannten Überströmgeschwindigkeit. Der Volumenstrom Q_1 bestimmt die Filter- bzw. Permeatleistung und der Volumenstrom Q_2 das Überströmvolumen, das die Ablagerung von Stoffen auf der Membranoberfläche 1 durch tangentiales Spülen weitgehend verhindern soll.

Fig. 1b erläutert symbolisch das Prinzip der Dead End Filtration, bei der keine tangentiale Überströmung der

Membranoberfläche stattfindet, d. h. V_2 , ist Null.

In Fig. 2 ist ein Ausschnitt einer Membranfilterschicht 1 mit Poren 3 gezeigt. Deutlich zu erkennen sind die Adsorbatschichten 10, die sich auf dem Filtermaterial 5 abscheiden. Grund hierfür sind die in der über Zuführung 12 zugeführten, zu filtrierenden Flüssigkeit enthaltenen gelösten Stoffe, beispielsweise Polykieselsäuren.

Wie der Zeichnung zu entnehmen, können durch entsprechendes Wachstum die Adsorbatschichten die Poren 3 des Membranmaterials 5 verschließen bzw. stark verengen. Mit steigender Adsorption sinkt daher die Permeatmenge Q_1 ab und zwar beispielsweise bei wäßrigen Lösungen von anfangs weit über $1000 \text{ l/m}^2\text{h}$ bis deutlich unter $200 \text{ l/m}^2\text{h}$ bei einer transmembranen Druckdifferenz von beispielsweise 1–8 bar. Eine Reinigung der Membran ist daher bereits nach kurzer Betriebsdauer notwendig, um eine hohe durchschnittliche Permeatleistung erzielen zu können.

Da die Adsorbatschichten mit dem Trägermaterial eine Bindung eingehen (vgl. hierzu bspw. P.W. Atkins "Physical Chemistry", Oxford University Press, 1990 S. 884 ff.) ist insbesondere die Entfernung von chemisorbierten Adsorbatschichten nur mit Hilfe einer chemischen Reinigung möglich.

Während bei Calciumadsorbatschichten diese in der Regel ohne Zerstörung des Membranmaterials beispielsweise mit essigsaurer Lösung vorgenommen werden kann, stellen kieselsäurehaltige Adsorbatschichten ein Problem dar.

In Fig. 3 ist eine Membranfilteranlage mit der erfundsgemäßen Behandlungseinrichtung 20 gezeigt. Die Behandlungsvorrichtung umfaßt in der dargestellten Ausführungsform eine Einrichtung 22 zur Erzeugung eines Magnetfeldes B in der Lösung. Das Magnetfeld B wird hier durch zwei an der Zuführleitung angebrachten Elektromagnete 24, 26 aufgebaut. Je nach Stromführung am Elektromagneten können statische oder Wechsel-Felder aufgebaut werden.

Auch permanentmagnetische Ausführungen sind denkbar, wie beispielsweise aus "Panda 2000-Katalog des WWF vom Frühling & Sommer 1998, S. 242" bekannt. Im Falle eines derartigen statischen Feldes sollte vorzugsweise bei hoher Überströmgeschwindigkeit des flüssigen Mediums gearbeitet werden. Bei Flüssigkeit mit niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten ist einem Wechselfeld der Vorzug zu geben.

Wie in Fig. 3 zu erkennen wird durch das angelegte Magnetfeld das Ausfallen von Kristallen 28 aus der Lösung induziert.

Die zu behandelnde Lösung mit den Kristallen 28 wird in der dargestellten Ausführungsform in eine weitere Stufe 30 der Vorbehandlung geführt, die zwar vorteilhaft, für die Erfindung aber keineswegs zwingend ist. Die weitere Stufe 30 ist beispielsweise ein Tiefbettfilter umfassend beispielsweise Sandpartikel 32. Anstelle einer sequentiellen Hintereinanderschaltung der beiden Behandlungsstufen wäre auch eine integrierte Vorbehandlungsstufe aus Sandfilter mit daran angeordneten Magneten denkbar.

Kristalle 28 werden von der Membran zurückgehalten. Im Gegensatz zu den Adsorbatschichten bilden derartige Ablagerungen aber keine chemische Bindung mit dem Trägermaterial 5 aus, so daß eine einfache Reinigung des Membranfilters beispielsweise mittels einer Rückspülung möglich ist.

Eine Erklärung für das Ausfallen der gelösten Stoffe durch die erfundsgemäße Vorbehandlung gibt Fig. 4. Zwar ist bspw. der Zustand für einen Ionenkristall energetisch günstiger als der in Lösung befindlicher Ionen jedoch muß für die Kristallbildung eine Aktivierungsenergie, die unter anderem wegen des Aufbrechens der Solvat- bzw. Hydrathülle resultiert, überwunden werden. Diese Aktivie-

rungsenergie kann durch das Anlegen von elektrischen bzw. magnetischen Feldern erheblich reduziert werden, was die Kristallbildung und damit die Ausfällung der in der Lösung enthaltenen Stoffe stark begünstigt und beschleunigt.

Fig. 5 zeigt eine Membrananlage 90 gemäß der Erfindung, umfassend die Behandlungseinrichtung 100 sowie optional eine Vorbehandlungsanlage 101. Die Behandlungseinrichtung 100 umfaßt eine Membranfiltrereinrichtung 102, eine erste Pumpe 104 sowie eine zweite Pumpe 106. Die erste Pumpe 104 weist eine hohe Förderleistung auf und stellt nur geringe Druckdifferenzen zur Verfügung, da sie lediglich dazu dient, ein Überströmen der zu behandelnden Flüssigkeit über die Membran der Membranfiltrereinrichtung sicherzustellen.

Die Pumpe 106 hingegen dient dem Aufbau der transmembranen Druckdifferenz. Für Filtrationsverfahren, bei denen kein Überströmen notwendig ist, z. B. bei der Reinigung von nur wenig belasteten Wässern, wird die Pumpe 104 aus Energiespargründen stillgesetzt.

Die zu filtrierende Flüssigkeit kann in einer oder mehreren Einrichtungen einer Vorbehandlung unterzogen werden. Dies geschieht beispielsweise in der Vorbehandlungsanlage 101, die in dem dargestellten Fall insgesamt drei Vorbehandlungseinrichtungen 108, 110 und 112 umfaßt, wobei in der ersten Vorbehandlungseinrichtung 108 eine Fällung, in der zweiten Vorbehandlungseinrichtung 110 eine Ausflockung vorgenommen werden kann, sowie die dritte Vorbehandlungseinrichtung 112 ein Sandfilter darstellt.

Die zu filtrierende Flüssigkeit wird über Leitung 114 der Vorbehandlungsanlage 101 zugeführt und gelangt über Leitung 116 in die Behandlungseinrichtung 100. In der Behandlungseinrichtung 100 wird das filtrierte Permeat nach Durchgang durch den Filter über Leitung 118 abgezogen, das Konzentrat über Leitung 120 aus der Anlage herausgeführt.

Die erfundsgemäße Einrichtung zur Erzeugung magnetischer, elektrischer oder elektromagnetischer Felder kann in der dargestellten Membranfilteranlage an den verschiedensten Stellen angeordnet sein, beispielsweise wäre eine Anordnung vor jeder der einzelnen Vorbehandlungseinrichtungen oder zwischen diesen möglich, wie mit den Bezugsziffern 122, 124, 126 und 128 gekennzeichnet.

In einer alternativen Ausführungsform kann die erfundsgemäße Vorrichtung in eine der Vorbehandlungseinrichtungen 108, beispielsweise den Sandfilter, integriert sein, siehe Bezugsziffer 123. Dies kann beispielsweise dadurch realisiert werden, daß die Vorbehandlungseinrichtung 108 mit magnetischem Material beschickt wird oder aus magnetischem Material besteht.

Neben einer Anordnung der erfundsgemäßen Einrichtung im Bereich der Vorbehandlungsanlage 101 wäre auch eine Anordnung im Bereich der Behandlungseinrichtung 100 selbst möglich. So könnte die erfundsgemäße Einrichtung zwischen Pumpe 106 und 104 angeordnet sein, direkt vor der Membranfiltrereinrichtung 102 oder im Bereich der Membranfiltrereinrichtung selbst sowie in der Rücklaufleitung 129 der Membranfiltrereinrichtung 102. Die Positionen der erfundsgemäßen Einrichtung im Bereich der Behandlungseinrichtung 100 sind mit den Bezugsziffern 130, 132, 134, 136 sowie 138 gekennzeichnet.

Auch eine Integration in beispielsweise die Membranfiltrereinrichtung wäre denkbar.

Im Bereich ruhender Strömung, d. h. beispielsweise bei abgeschalteter Pumpe 104, finden bevorzugt als Einrichtungen zum Erzeugen der magnetischen, elektrischen bzw. elektromagnetischen Felder Wechselfeldeinrichtungen Verwendung, wohingegen im Bereich hoher Strömungsgeschwindigkeiten, beispielsweise in der Vorbehandlungseinrich-

richtung 102, auch statische Felder in Form beispielsweise von Permanentmagneten zur Anwendung gelangen können bzw. eine Kombination aus statischen Feldern und Wechselfeldern.

Die Feldstärken der erfundungsgemäß erzeugten magnetischen, elektrischen und/oder elektromagnetischen Felder liegt bei den magnetischen Feldern um ein Vielfaches über dem des Erdmagnetfeldes.

Patentansprüche

10

1. Verfahren zur Behandlung und/oder Vorbehandlung von mittels einer Membranfiltereinrichtung zu filtrierenden Flüssigkeiten, insbesondere wasserhaltigen Lösungen, Emulsionen, Suspensionen umfassend die folgenden Schritte:

1.1 Zuführen von zu filtrierenden Flüssigkeiten zu einer Behandlungseinrichtung und/oder Vorbehandlungseinrichtung und/oder Filtereinrichtung;

1.2 Anlegen von elektrischen und/oder magnetischen und/oder elektromagnetischen Feldern in einer Behandlungseinrichtung und/oder Vorbehandlungseinrichtung und/oder Filtereinrichtung derart, daß die mit der Membran zu filtrierenden Flüssigkeiten diesen Feldern ausgesetzt waren bzw. sind;

1.3 Abführen der behandelten Flüssigkeiten aus der Behandlungseinrichtung, Vorbehandlungseinrichtung oder Filtereinrichtung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen und/oder magnetischen und/oder elektromagnetischen Felder derartige Feldeigenschaften, wie Stärke, Gradient, Wechselfrequenz aufweisen, daß die Aktivierungsenergie zur Bildung von Kristallisationskeimen von in den zu filtrierenden Flüssigkeiten vor der Behandlung enthaltenen gelösten Stoffen wie Ionen, Molekülen, Molekülaggregaten erniedrigt wird, so daß derartige Stoffe aus der Flüssigkeit ausfallen.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß die zu behandelnde Flüssigkeit eine übersättigte Lösung ist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen und/oder magnetischen Felder statische Felder sind.

5. Verfahren nach Ansprüche 1 bis 3 dadurch gekennzeichnet, daß die magnetischen und/oder elektrischen und/oder elektromagnetischen Felder Wechselfelder sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranfiltereinrichtung der Sterilfiltration, insbesondere der Abtrennung von Bakterien, Sporen und/oder Mikroorganismen und/oder Viren dient.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Vorbehandlungseinrichtung die gelösten Stoffe, wie Ionen, Moleküle, Molekülaggregate mittels von Fällungsmitteln und/oder Flockungssubstanzen ausgefällt bzw. ausgeflockt werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die zu filtrierenden Flüssigkeiten in der Vorbehandlungseinrichtung über eine große Oberfläche, bspw. aus Sand geführt werden.

9. Membrananlage (90) mit einer Zuführungseinrichtung (114) zum Zuführen von zu filtrierenden Flüssigkeiten mindestens einer Membranfiltereinrichtung (102).

mindestens einer Einrichtung zum Abführen des Filtrates (118) dadurch gekennzeichnet, daß die Membrananlage (90) mindestens eine Einrichtung (22) zum Erzeugen von magnetischen und/oder elektrischen und/oder elektromagnetischen Feldern in der zu behandelnden Flüssigkeit umfaßt.

10. Membrananlage gemäß Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zum Erzeugen von magnetischen und/oder elektrischen und/oder elektromagnetischen Feldern Permanentmagnete und/oder Elektromagnete umfaßt.

11. Membrananlage gemäß einem der Ansprüche 9 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Membrananlage (90) mindestens eine Vorbehandlungseinrichtung (108, 110, 112) umfaßt.

12. Membrananlage gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorbehandlungseinrichtung Mittel zum Zuführen von Flockungsmittel umfaßt.

13. Membrananlage gemäß einem der Ansprüche 11 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorbehandlungseinrichtung ein Tiefbettfilter (32) mit großer Oberfläche umfaßt.

14. Membrananlage (90) gemäß Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Material des Tiefbettfilters eine große überströmte Oberfläche besitzt und daß das überströmte Material aus inertem Material besteht.

15. Membrananlage (90) gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das neutrale Material eines oder die Kombination aus nachfolgenden Materialien umfaßt:

inertes organisches Material,

inertes anorganisches Material,

inerte Metalle,

inerte magnetische Oxide,

inerte Metalloxide, beispielsweise Sand, Al_2O_3 , ZrO_2 , Fe_2O_3 .

16. Membrananlage (90) gemäß einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (20, 130, 132, 134, 136, 138) zum Erzeugen von magnetischen und/oder elektrischen und/oder elektromagnetischen Feldern im Bereich der Behandlungseinrichtung (100) und/oder der Membranfiltereinrichtung (102) angeordnet oder in die Behandlungseinrichtung (100) und/oder Membranfiltereinrichtung (102) integriert ist.

17. Membrananlage (90) gemäß einem der Ansprüche 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (22, 122, 124, 126, 127, 128) zum Erzeugen von magnetischen und/oder elektrischen und/oder elektromagnetischen Feldern im Bereich der Vorbehandlungseinrichtung (101), vor und/oder an und/oder nach mindestens einer Vorbehandlungseinrichtung (108, 110, 112) angeordnet ist, oder in eine Vorbehandlungseinrichtung integriert ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1a

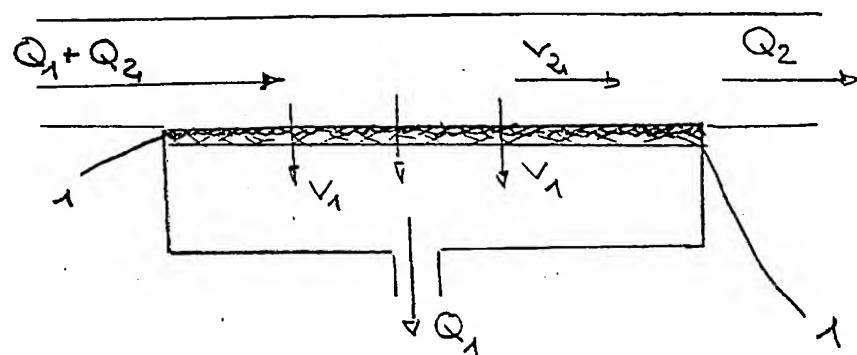


FIG. 2

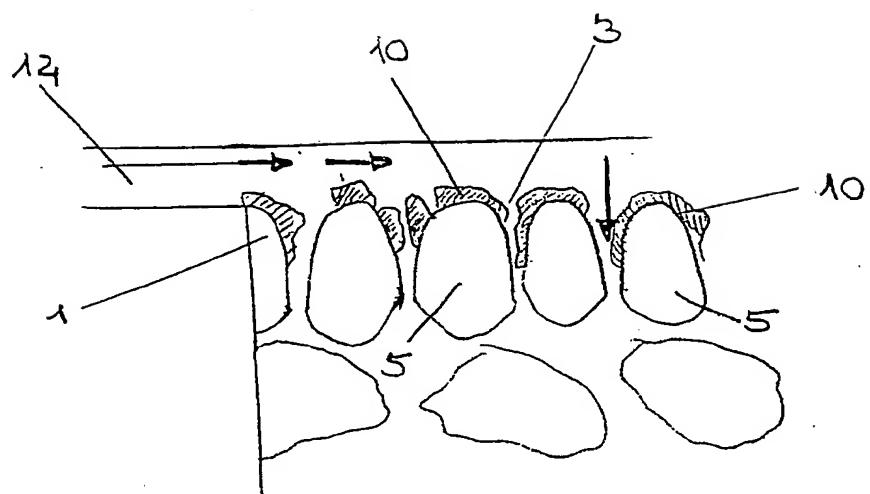
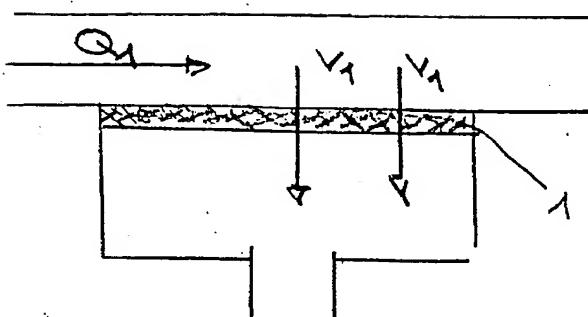
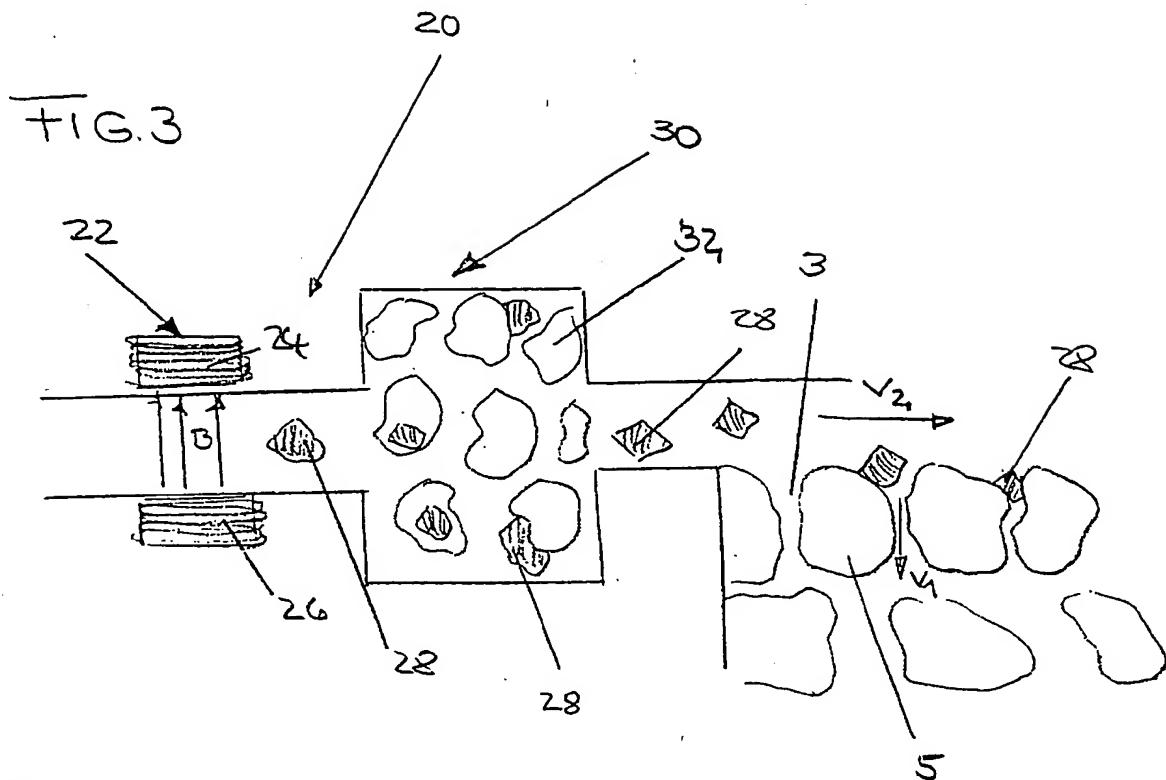
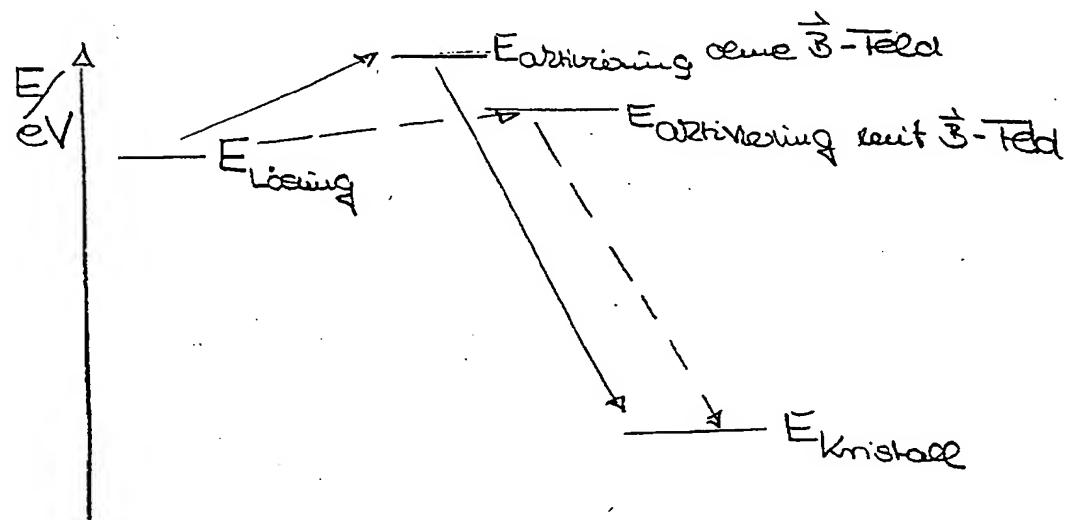
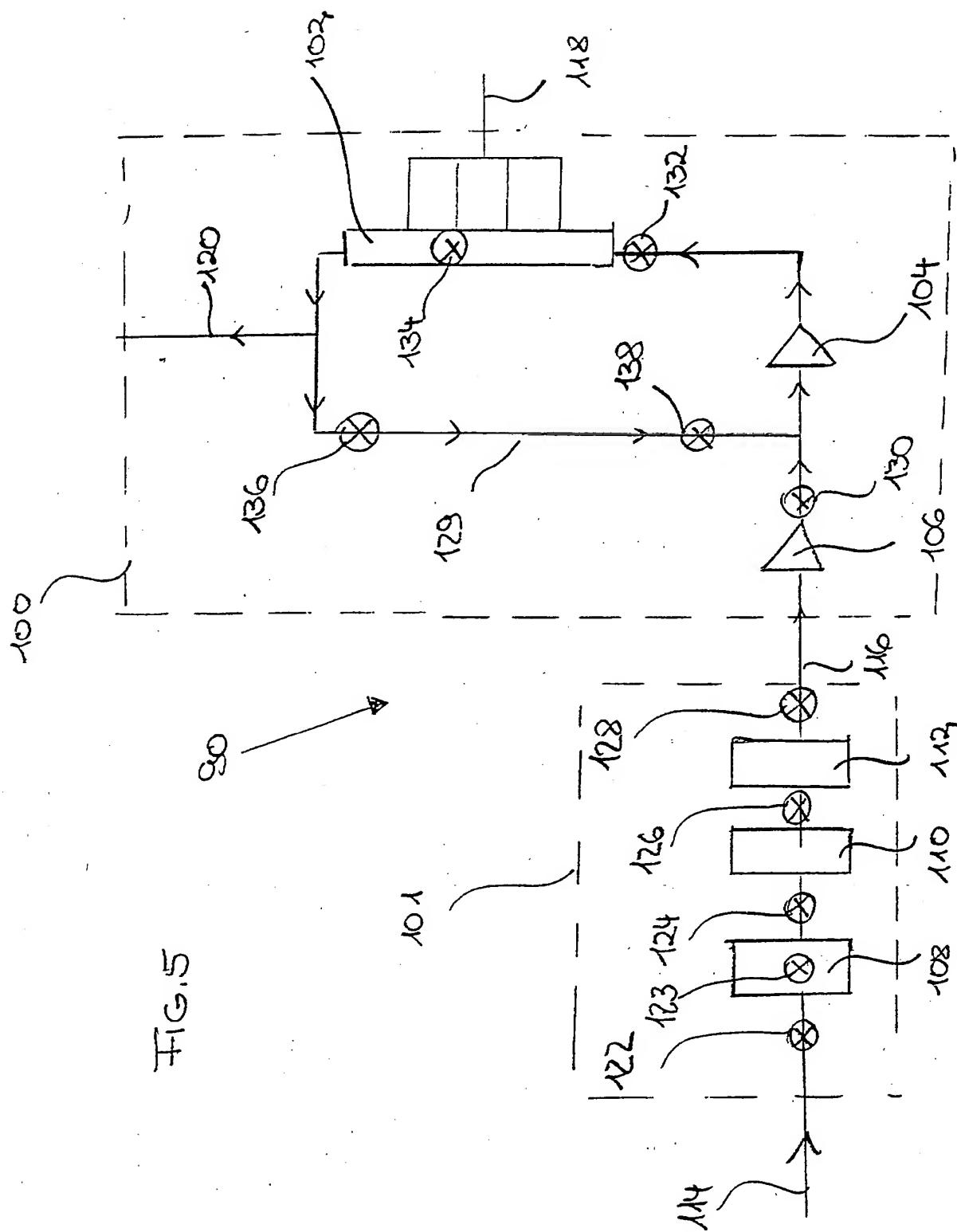


Fig. 15



$$\begin{aligned} Q_2 &= 0 \\ v_2 &= 0 \end{aligned}$$

FIG.4



ج